

سیزدهمین کنفرانس بین المللی
مهندسی صنایع

IIEC 2017

بِسْمِ تَعَالَى



کواهی ارائه مقاله

۹۵ و ۴ اسفند ۹۵



دانشگاه علوم و فنون مازندران

بدین وسیله کواهی می‌شود که مقاله

ارزیابی ریسک مبتنی بر تکنیک حالات و اثرات شکست در سیستم های تزریق سیال

توسط حمزه سلطانعلی، محمد نساج مقدم، جعفر صالحی تبار، عباس روحانی

در سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع ارائه گردید. پیشرفت روز افزون ایشان را از خداوند منان مسلت داریم.

ارزیابی ریسک مبتنی بر تکنیک حالات و اثرات شکست در سیستم‌های تزریق سیال

حمزه سلطانعلی^۱، محمد نساج مقدم^۲، جعفر صالحی تبار^۳، عباس روحانی^{*۴}

^۱دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران؛ ha.soltanali@um.ac.ir

^۲مدیریت واحد نگهداری و تعمیرات خط مونتاژ، شرکت ایران خودرو خراسان؛ nasajm@ikkco.ir

^۳مدیریت فنی واحد نگهداری و تعمیرات خط مونتاژ، شرکت ایران خودرو خراسان؛ j_salehitabar@ikkco.ir

^۴استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد؛ arohani@um.ac.ir

چکیده

با توجه به اهمیت رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در راستای بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های بحرانی در خط مونتاژ خودرو و نیز پیوستگی عملیات تولید، تحلیل ریسک با هدف ارائه راهبردهای مناسب نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه امری اجتناب‌ناپذیر است. از این رو هدف از این مطالعه، ارائه تکنیک حالات و اثرات شکست در سیستم‌های تزریق و تست سیال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تجهیزات با ساختار نسبتاً پیچیده در خط مونتاژ ایران خودرو خراسان بود. تعیین میزان تاثیر هر یک از حالات خرابی بر روی عملیات تولید با کمک روش‌های تحلیل حساسیت و اولویت‌بندی ریسک صورت گرفت. نتایج نشان داد که از بین زیر سیستم‌های تشکیل دهنده، به ترتیب مجموعه سره تزریق، مجموعه فرمان برقی (PLC) و سنسورها با مقادیر ریسک ۴۳۲، ۳۶۰ و ۳۳۰ دارای بالاترین رتبه حساسیت بودند. در نتیجه، امکان برنامه‌ریزی به منظور تدوین استراتژی‌های نت بهینه برای حالات شکست با ریسک بالا در سیستم‌های تزریق سیال وجود دارد.

کلمات کلیدی: اولویت‌بندی ریسک، تزریق سیال، تحلیل حساسیت، نگهداشت، حالات و اثرات خرابی

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) based Risk Assessment of Fluid Filling Systems

Hamzeh Soltanali¹, Mohammad Nassaj Moghaddam², Jafar Salehi-Tabar², Abbas Rohani^{*3}

1-Ph.D Candidate & Research Assistant, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Maintenance Director, Iran Khodro Khorasan (IKK) Trim Shop, Khorasan-Razavi, Iran

3-Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*Corresponding author: arohani@um.ac.ir

Abstract

Given the importance of physical assets management to improve the reliability of critical systems and lean manufacturing in the automotive assembly line, risk analysis with the aim to provide the appropriate preventive maintenance (PM) strategies is inevitable. Thus, the aim of this case study was to present Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) technique in Fluid Filling systems as one of the almost complex structures in the assembly line of Iran Khodro Khorasan Company (IKKC). Determining the impact of the failure modes estimated by using Critical Analysis (CA) and risk assessment. The results showed that among different sub-systems, Filing Head, Programmable Logic Controller (PLC) and sensors with the values of 432, 360 and 330 of Risk Priority Number (RPN) were devoted the highest critically ranking, respectively. As a result, a possibility of allocating the optimal maintenance strategies for the failure modes with a high-risk rating in Fluid Filling systems is very important.

Keywords: Critically analysis (CA), Failure mode and effect analysis (FMEA), Fluid filling, Maintenance, Risk assessment

۱ مقدمه

نگرش توسعه و بکارگیری رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی^۱ با تکیه بر بهبود الگوی نگهداشت و با هدف افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های تولید به عنوان یکی از اهداف مهم در ساختار مدیریتی سازمان‌ها و شرکت‌ها می‌باشد. در این بین، ارائه تکنیک‌هایی به منظور افزایش قابلیت دسترس‌پذیری سیستم‌ها، کاهش و نیز پیشگیری از شکست‌های زیان‌بار تجهیزات و ماشین‌آلات در راستای افزایش کمیت و کیفیت در فرآیند تولید، بیش از پیش احساس می‌شود [۱]. یکی از رویه‌های کارآمد و سیستماتیک به منظور شناسایی شکست‌های بالقوه و نیز جلوگیری از شکست‌های بالفعل، تکنیک تحلیل حالات و اثرات شکست^۲ بر مبنای ارزیابی ریسک^۳ می‌باشد [۲]. به عبارتی این روش در برگیرنده یک متد تحلیلی به منظور شناسایی و کاهش ریسک خرابی‌ها در سیستم‌ها و انواع زیرسیستم‌ها مطرح است [۳]. تاریخچه بکارگیری این تکنیک به ابتدای دهه ۱۹۶۰ میلادی در صنایع هوایی و فضایی آمریکا بر می‌گردد. اوج گسترش و توسعه این روش مربوط به اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی بوده است. جایی که سازمان هوانوردی آمریکا به بخش زمین‌شناسی کشور جهت بکارگیری آن در اکتشافات نفتی پیشنهاد داد. استفاده آن در صنعت خودروسازی در اواخر سال ۱۹۷۰ میلادی توسط شرکت فورد به منظور مدیریت ایمنی و نظارت بوده است [۴]. از طرفی تکنیک حالات و اثرات شکست، می‌تواند در ریشه‌یابی یا عارضه‌یابی عوامل شکست و نیز ارائه فعالیت‌های بهینه^۴ پیش-اقدام نگهداری و تعمیرات نقش مهمی داشته باشد که نهایتاً تاثیر آن بر روی بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات خواهد بود [۵].

با توجه به اهمیت نگهداشت دارایی‌های فیزیکی، مطالعات قابل توجهی در زمینه توسعه و بکارگیری تکنیک حالات و اثرات شکست در صنایع مهمی چون هسته‌ای، خودروسازی، پتروشیمی و نفت، فولادسازی، معدن، حمل و نقل ریلی و غیره صورت گرفته است [۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰]. اما در این بین، صنعت خودروسازی با هدف افزایش

کیفیت تولیدات و نیز افزایش سرعت عملیات تولید، نیازمند بهبود اثربخشی تجهیزات و ماشین‌آلات است. در نتیجه ارائه روش‌هایی به منظور بهبود هر چه بهتر و برنامه‌ریزی اصولی‌تر در زمینه نگهداری تجهیزات در خط تولید دارای اهمیت فراوان است. از طرفی تمرکز این پژوهش در خط مونتاژ خودروهای سواری و ارزیابی ریسک تجهیزات تزریق و تست سیال و نیز ارائه راهکارهایی به منظور بهبود نگهداشت آن‌ها با تکیه بر روش سیستماتیک حالات و اثرات شکست است.

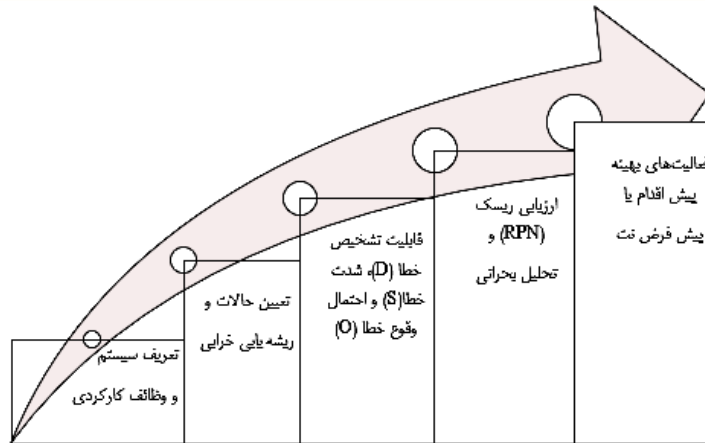
۲ مواد و روش‌ها

۱-۲ موقعیت مکانی و روش تحقیق

مطالعه حاضر در شرکت ایران‌خودرو خراسان رضوی واقع در شهرک صنعتی بینالود صورت گرفت که در ۵۵ کیلومتری شهرستان مشهد قرار دارد. روش تحقیق به صورت میدانی و یادداشت‌برداری مستقیم از فرآیند تولید خودرو بوده است. به منظور انجام تحقیق، کار گروهی شامل کارشناسان خبره نت از سوی شرکت ایران‌خودرو و نیز اساتید مجرب دانشگاه، به منظور شناسایی تجهیزات بحرانی در خط تولید تشکیل شد. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده، تجهیزات مهم در خط مونتاژ انتخاب شدند که در نهایت، منجر به انجام تحقیق بر روی سیستم‌های تزریق و تست سیال شد که یکی از حساسیت‌ترین و پیچیده‌ترین تجهیزات در حفظ پیوستگی عملیات مونتاژ خودرو محسوب می‌شوند.

۲-۲ ارزیابی حالات و اثرات شکست

تکنیک حالات و اثرات شکست یکی از ابزارهای مناسب به منظور تعیین اولویت‌بندی ریسک برای هر یک از حالات شکست می‌باشد. همچنین این روش می‌تواند در ارائه مناسب‌ترین روش‌های پیش‌اقدام به منظور افزایش قابلیت آماده‌بکاری سیستم‌ها موثر واقع شود [۱۱]. مراحل پیاده‌سازی روش ارزیابی حالات و اثرات خرابی در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۲].

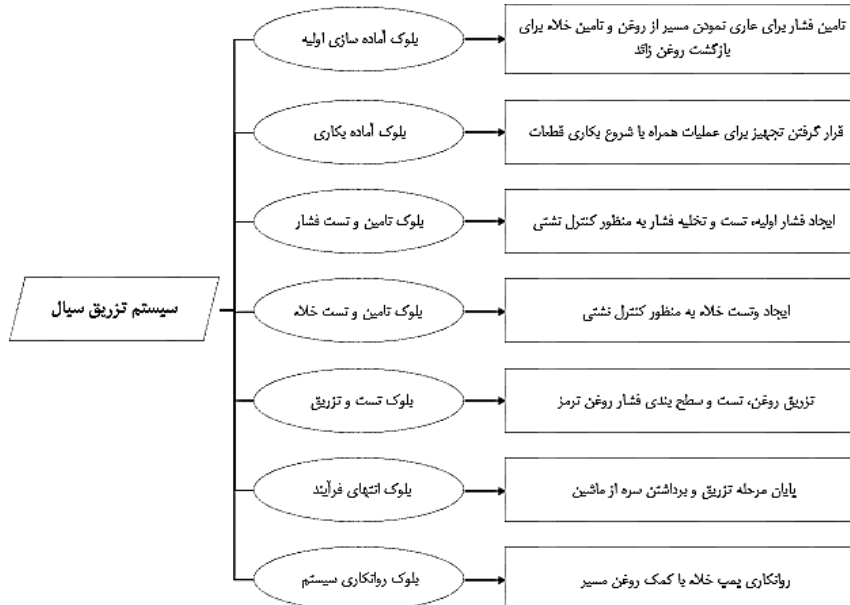


شکل (۱): نمودار منطقی روش FMECA [۱۲].

سیستم‌های تزریق سیال یک مجموعه ترکیبی هیدرو - پنوماتیک است که از سامانه فرمان برقی برخوردار است. به طور کلی می‌توان فرآیند اجرای سیستم را به شش واحد یا بلوک به همراه واحد کمکی روانکاری تقسیم‌بندی کرد. یکی از ویژگی‌های بارز این دستگاه، امکان درگیری همسان بسیاری از قطعات برای اجرای فعالیت در بلوک‌های مختلف کارکردی است. به طور کلی وظیفه این سیستم‌ها در خط مونتاژ، تست انواع نشتی‌های ممکن با استفاده از حالت‌های فشارسازی و ایجاد خلاء و نیز سطح‌بندی مقادیر سیال در مسیرها و اتصالات خودرو براساس استانداردهای جهانی می‌باشد. مراحل گام به گام این دستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱-۲-۲ سیستم‌های تزریق سیال (سیستم و کارکردها)

اولین مرحله از اجرای روش تحلیل حالات و اثرات شکست، تعیین نوع سیستم و وظائف کارکردی آن‌ها است که در این مطالعه سیستم‌های تزریق سیال انتخاب شدند. در خط مونتاژ خودرو، انواع مختلفی از سیستم‌های تست و تزریق سیال شامل سیستم تزریق روغن هیدرولیک، سیستم تزریق گاز کولر، سیستم تزریق شیشه شور، سیستم تزریق روغن گیربکس، سیستم تزریق سوخت و سیستم تزریق ضدیخ وجود دارند که پیچیده‌ترین، حساسیت‌ترین و نیز کامل‌ترین آن‌ها از نظر ساختاری و ایمنی کاربران، سیستم‌های تزریق و تست روغن ترمز می‌باشد. که در این مطالعه با توجه اهمیت قابلیت اطمینان و قابلیت دسترس‌پذیری آن، مورد بررسی واقع شده است.



شکل (۲): بلوک فرآیند کارکردی سیستم‌های تزریق سیال

همچنین به منظور تحلیل حساسیت و یا تعیین نمره اولویت‌بندی ریسک^۵ می‌توان از سه پارامتر شدت خرابی (S)، درجه تشخیص (D) و احتمال وقوع خرابی (O) استفاده کرد که نحوه محاسبه آن براساس رابطه ۱ است که حد آستانه قابل قبول برای هر یک از حالات خرابی را فراهم می‌کند [۱۴]. در جدول ۳ به تحلیل حساسیت یا تحلیل بحرانبیت پرداخته شده است.

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

۲-۲-۲ ارزیابی ریسک و تحلیل حساسیت^۱
ارزیابی هر یک از حالات شکست و اثرات آن از سه پارامتر احتمال وقوع خرابی (O)^۲ که میزان احتمال وقوع هر یک از حالات خرابی را نشان می‌دهد، شدت اثر خرابی (S)^۳ که شدت پیامد خرابی را بیان می‌کند و احتمال شناسایی (D)^۴ که احتمال تشخیص هر یک از حالات خرابی قبل از شروع اقدامات اصلاحی و یا پیشگیرانه را نشان می‌دهد، امکان‌پذیر است [۱۳]. که رتبه‌بندی هر یک از این فاکتورها براساس نوع خرابی‌ها و اثرات آن‌ها به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. مقیاس رتبه‌بندی هر یک از پارامترها، عددی بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد [۱۲].

جدول (۱): رتبه‌بندی پارامترهای احتمال وقوع و شدت خرابی در روش FMEA

درجه تشخیص خرابی (D)	رتبه‌بندی	شدت اثر شکست (S)
هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خرابی تجهیز بالقوه نیست	(۱۰)	تخریب تجهیز منجر به خرابی ماشین
احتمال خیلی ناچیزی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۹)	تخریب تجهیز منجر به خرابی تجهیز
احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۸)	تخریب تجهیز منجر به خرابی قطعه و تعویض فوری
احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۷)	تخریب تجهیز منجر به توقف با تعویض با تاخیر ایراد قطعه بر طرف می‌شود
احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۶)	تخریب تجهیز به نحوی که الزاما در پایان شیفت رفع ایراد گردد.
در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۵)	تخریب تجهیز منجر به کاهش تولید تا انتهای هفته
احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۴)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا انتهای هفته بصورت دستی
احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۳)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا انتهای هفته بصورت خودکار
احتمال خیلی زیاد وجود دارد	(۲)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا تعطیلات دوره‌ای
تقریباً بطور حتم با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.	(۱)	بدون اثر

4- Detection (D)
5- Risk priority number (RPN)

1-Critically analysis (CA)
2-Occurrence (O)
3-Severity (S)

که نشان داده شده است، مقادیر شدت اثرات خرابی به ترتیب در مجموعه سره تزریق، مجموعه فرمان برقی (PLC)، سنسورها و مجموعه فشارشکن دارای بالاترین مقدار بودند. از طرفی بیشترین مقادیر پارامتر احتمال وقوع شکست مربوط به شیرهای قطع و وصل، گلوبی و یک طرفه، فشار شکن‌ها و نیز در رفتگی فنر یا فرسودگی آن در پمپ و کیوم بوده است. همچنین بالاترین مقادیر شاخص تشخیص شکست مربوط به پمپ تزریق سیال و پمپ و کیوم بوده است. در جدول ۶ ارزیابی ریسک هر یک از حالات شکست براساس مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر آورده شده است. نتایج نشان داد که به طور متوسط تجهیزات شامل مجموعه سره تزریق، مجموعه فرمان برقی و سنسورها به ترتیب با مقادیر ۴۳۲، ۳۶۰ و ۳۳۰ دارای بالاترین نمره اولویت بندی ریسک بودند (شکل ۴). از طرفی در مجموعه سره تزریق بیشترین نمره ریسک مربوط به خطا در سیستم فرمان برقی و نشستی در اتصالات سره بوده است. همچنین تحلیل حساسیت حالات شکست به منظور تایید نتایج حاصل از ارزیابی ریسک برای هر یک از تجهیزات صورت گرفت. که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است که در آن مجموعه سره تزریق، مجموعه فرمان برقی و نیز سنسورها، بالاترین درجه حساسیت را به خود اختصاص دادند. به طور کلی عوامل بسیار زیادی در ایجاد خطا و شکست سره تزریق اثر گذارند. از جمله می‌توان به ویژگی‌های طراحی، ساخت و مواد اولیه بکار رفته در سره تزریق اشاره کرد. علاوه بر پارامترهای فنی، عوامل انسانی نیز نقش به‌سزایی در ایجاد خطا یا خرابی در سره تزریق ایفا می‌کنند. خطای انسانی می‌تواند ناشی از پرسنل تعمیرات و یا عدم آموزش کافی اپراتور تزریق باشد. اگرچه تغییر شیفت کاری، منجر به تنوع کاری و کاهش فعالیت‌های تکراری می‌شود، اما در مورد تجهیزات بحرانی و با حساسیت بالا از قبیل سیستم‌های تزریق سیال می‌بایست تا حد امکان از افراد با تجربه کاری طولانی و آموزش دیده استفاده شود. از طرفی برگزاری دوره‌های آموزشی توجیهی برای پرسنل نت و نیز اپراتورها که درگیر تجهیزات تزریق هستند، نیز یکی از راهکارهای بهبود راندمان عملکردی است. همانطور که اشاره شد، بهبود پارامترهای فنی به نوبه خود می‌تواند در کاهش خطاهای انسانی موثر باشد. با توجه به اینکه مجموعه سره تزریق دارای وزن قابل توجهی است، به مرور خستگی اپراتور را در پی دارد و این امر منجر به خطا و از دست دادن تمرکز به خصوص در زمان نصب و برداشتن به موقع سره از خودرو می‌شود، از این رو، بکارگیری، مجموعه سره تزریق با مواد اولیه سبک‌تر علاوه بر کاهش خطاهای اپراتوری از نظر ارگونومیکی می‌تواند از فشار وارده بر مفاصل و عضلات جلوگیری نماید.

جدول (۲): رتبه‌بندی احتمال وقوع شکست در روش FMEA

رتبه بندی	احتمال شکست	احتمال رخ شکست
۱۰	بسیار بالا: شکست‌های	۱ در ۲ یا بیش از آن
۹	دائمی	۱ در ۳
۸	بالا: شکست‌های متناوب	۱ در ۸
۷		۱ در ۲۰
۶		۱ در ۸۰
۵	متوسط: شکست‌اتفاقی	۱ در ۴۰۰
۴		۱ در ۲۰۰۰
۳	پایین: شکست نسبتاً کم	۱ در ۱۵۰۰۰
۲		۱ در ۱۵۰۰۰۰
۱	کم: شکست غیرمحتمل	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰

جدول (۳): تحلیل حساسیت به منظور اولویت بندی ریسک

رتبه حساسیت	محدوده ریسک	درجه بحرانی
۶	قابل قبول	کم ۰ تا ۳۰
۵	قابل قبول	متوسط ۳۱ تا ۶۰
۴	قابل تحمل	بالا ۶۱ تا ۱۸۰
۳	غیرقابل قبول	بسیار بالا ۱۸۱ تا ۲۵۲
۲	غیرقابل قبول	بحرانی ۲۵۳ تا ۳۵۰
۱	غیرقابل قبول	بسیار بحرانی بیشتر از ۳۵۰

نتایج و بحث

به منظور ارزیابی حالات و اثرات شکست، تمامی شکست‌های بالقوه و بالفعل ممکن در سیستم‌های تزریق سیال برای زیرسیستم‌هایی که بیشترین احتمال خرابی را داشتند، به طور مجزا با استفاده از نقشه‌های هیدرولیک-پنوماتیک و نقشه‌های فرمان برقی استخراج شدند. در مرحله بعد شکست کارکردی و نیز اثرات شکست ناشی از هر یک از حالات خرابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین حالات شکست (زیر شکست‌ها) مربوط به مجموعه سره تزریق، پمپ تزریق، پمپ و کیوم و فشارشکن‌ها می‌باشد. در سیستم‌های تزریق سیال، اثرات بالقوه شکست در بعضی از حالات شکست بر روی تجهیز و در مواردی تأثیر آن بر روی افتادگی کل سامانه است. با استفاده از پارامترهای موجود در جدول ۴، ارزیابی ریسک هر یک از حالات شکست مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). بدین منظور ابتدا اولویت بندی شاخص‌های شدت اثر خرابی، احتمال وقوع خرابی و درجه تشخیص صورت گرفت و نهایتاً نمره اولویت بندی ریسک محاسبه شد. به منظور نمایش بهتر این شاخص‌ها مربوط به حالات شکست‌ها و زیر شکست‌های هر یک از تجهیزات از شکل ۳ استفاده شد. همان‌طور

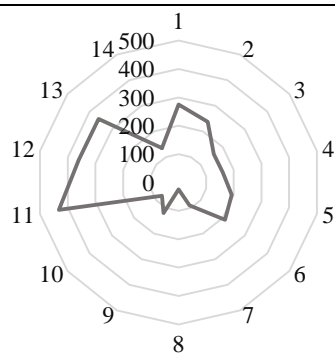
13th International Conference on Industrial Engineering (IIEC 2017)

جدول (۴): تعیین پارامترهای شکست کارکردی، حالات شکست و اثرات شکست در سیستمهای تزریق

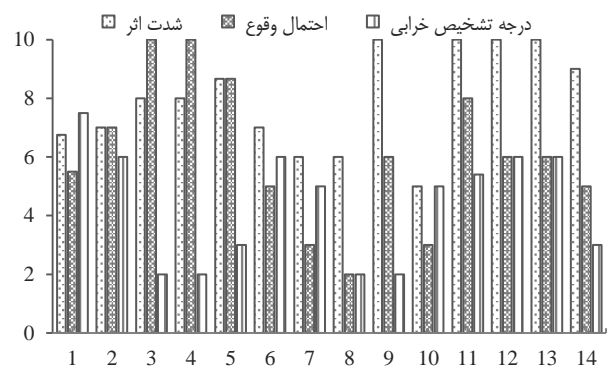
ردیف	تجهیز	شکست کارکردی	حالاتهای بالقوه شکست	اثرات بالقوه شکست
۱	پمپ تزریق سیال	عدم تزریق مایع	۱-۱ خرابی یا تاقانها به علت فرسودگی ۲-۱ خرابی الکتروموتور ناشی از خطاهای مداری ۳-۱ سایش زیاد چرخندهها ۴-۱ خرابی سیل‌های آببندی ناشی از کارکرد زیاد ۱-۲ خرابی پرها ناشی از کارکرد زیاد ۲-۲ خرابی روتورها ناشی از کارکرد زیاد	از کار افتادگی پمپ تزریق و به تبعیت آن از کار افتادن سامانه
۲	پمپ تامین و کیوم	عدم تامین خلاء در مدار	۳-۲ در رفتگی یا فرسودگی فنرناشی از فشار زیاد ۴-۲ خرابی الکتروموتور ناشی از خطاهای مدار ۱-۳ خرابی و سایش اسپول شیرها ناشی از کارکرد و فشار زیاد ۱-۴ خرابی و فرسودگی شیرها ناشی از کارکرد زیاد ۲-۴ خرابی ناشی از سایش جزء عمل کننده ۱-۵ فشار زیاد سیستم (کارکرد نادرست فشار شکنها)	از کار افتادگی پمپ و کیوم و نیز دستگاه را در پی دارد
۳	شیرهای قطع و وصل	عدم باز و بسته شدن صحیح	۲-۵ شکست فنرهای شیرهای کنترل فشار ۳-۵ سایش و شکست عمل کننده شیرهای کنترل فشار ناشی از نوسانات بیش از حد و ایجاد فشار نامناسب در مدار سیستم ۱-۶ خرابی و سایش اسپول شیرها ناشی از کارکرد و فشار زیاد	علاوه بر از کار افتادگی شیرها منجر به اختلال در انجام فرآیند می شود
۴	شیر گلوبی و یک طرفه	عدم تنظیم درست	۱-۸ نشتی و فرسودگی لوله‌ها	علاوه بر از کار افتادگی شیرها منجر به اختلال در انجام فرآیند می شود
۵	فشارشکن‌ها و فشارسنجها	عدم تامین فشارسازی	۱-۹ خرابی ناشی از کارکرد زیاد	از کار افتادگی شیرها منجر به اختلال در انجام فرآیند می شود
۶	شیرهای فرمان برقی	عدم باز و بسته شدن صحیح	۱-۱۰ فرسودگی فیلترها ناشی از کارکرد زیاد و گرفتگی آنها ۱-۱۱ نشتی کوپلینگها ۲-۱۱ خرابی یا نشتی شیرهای سره ۳-۱۱ خرابی اورینگها و آببندها در سره ۴-۱۱ خرابی سیستم فرمان برقی ۵-۱۱ نشتی در لوله‌ها و اتصالات سره	علاوه بر از کار افتادگی شیرها منجر به اختلال در سامانه می شود
۷	شمارنده مقدار جریان (فلوکانت)	عدم شمارش صحیح حجم سیال	۱-۱۲ خرابی ناشی از کارکرد زیاد یا اختلالات مداری	عدم تامین حجم روغن بهینه برای خودرو که فشار زیاد، هم به اتصالات خودرو و هم به مدار دستگاه آسیب می‌رساند.
۸	لوله‌ها و اتصالات	عدم انتقال سیال و هوا	۱-۱۳ خرابی کنداکتور و اجزاء مهم آن شامل بوبین‌ها و هسته‌ها	منجر به افزایش نشتی در مدار و خطا در عملیات تزریق می شود
۹	درام‌ها	عدم تامین سیال برای مدار	۱-۱۴ همسان نبودن فشار و سرعت به منظور تامین خلاء	منجر به عدم تامین روغن مورد نیاز با توجه به سطح بهینه سیال در مخزن می شود
۱۰	فیلترها	عدم تامین شرایط تمیزکاری	روانکاری پمپ و کیوم	منجر به گرفتگی مسیر انتقال هوا و روغن تمیز شده که فرسودگی سایر اجزاء در زمانهای آتی را در پی دارد
۱۱	مجموعه سره تزریق	عدم ایجاد تزریق با اطمینان بالا		عوامل نشتی در مجموعه سره، فرآیند عملیاتی تزریق و تست فشار روغن ترمز را با مشکل مواجه می‌سازد.
۱۲	سنسورها	عدم تشخیص جریانات سیال، فشار و اجسام		منجر به خطای دستگاه شده و در نتیجه از کار افتادگی عملیات را در پی دارد.
۱۳	مجموعه فرمان برقی	عدم فرمان مناسب به مجموعه فستوباکس به منظور باز و بست شیرها		امکان برقراری ارتباط الکترونیکی به منظور باز کردن شیرهای فرمان برقی و در نتیجه شیرهای هیدروپنومات وجود ندارد.
۱۴	اچکتور تامین خلاء	عدم تامین خلاء در مرحله روانکاری پمپ و کیوم		منجر به عدم وکیوم سازی مناسب شده و عمل تمیز کاری پمپ و کیوم دچار مشکل می شود.

جدول (۵): برآورد ریسک هر یک از حالات شکست مربوط به تجهیزات تزریق سیال

ردیف	تجهیز	حالت شکست	شدت (S)	احتمال وقوع (P)	درجه تشخیص (D)	RPN
۱	پمپ تزریق سیال	۱-۱	۷	۵	۸	۲۸۰
		۲-۱	۶	۶	۸	۲۸۸
		۳-۱	۷	۵	۸	۲۸۰
		۴-۱	۷	۶	۶	۲۵۲
۲	پمپ تامین و کیوم	۱-۲	۷	۷	۷	۲۹۴
		۲-۲	۷	۷	۷	۲۹۴
		۳-۲	۶	۵	۶	۱۸۰
		۴-۲	۶	۵	۶	۱۸۰
۳	شیرهای قطع و وصل	۱-۳	۸	۱۰	۲	۱۶۰
۴	شیرهای گلوبی و یک طرفه	۱-۴	۸	۱۰	۲	۱۶۰
		۲-۴	۸	۱۰	۲	۱۶۰
۵	فشارشکن‌ها و فشار سنجها	۱-۵	۶	۶	۵	۱۸۰
		۲-۵	۱۰	۱۰	۲	۲۰۰
		۳-۵	۱۰	۱۰	۲	۲۰۰
۶	شیرهای فرمان برقی	۱-۶	۷	۵	۶	۲۱۰
۷	شمارنده مقدار جریان	۱-۷	۶	۳	۵	۹۰
۸	لوله‌ها و اتصالات	۱-۸	۶	۲	۲	۲۴
۹	درام‌ها	۱-۹	۱۰	۶	۲	۱۲۰
۱۰	فیلترها	۱-۱۰	۵	۳	۵	۷۵
۱۱	مجموعه سره تزریق	۱-۱۱	۱۰	۸	۵	۴۰۰
		۲-۱۱	۱۰	۸	۵	۴۰۰
		۳-۱۱	۱۰	۸	۵	۴۰۰
		۴-۱۱	۱۰	۸	۶	۴۸۰
۱۲	سنسورها	۵-۱۱	۱۰	۸	۶	۴۸۰
		۱-۱۲	۱۰	۶	۵/۵	۳۳۰
۱۳	مجموعه فرمان برقی	۱-۱۳	۱۰	۶	۶	۳۶۰
۱۴	اجکتور تامین خلاء	۱-۱۴	۹	۵	۳	۱۳۵



شکل (۴): مقادیر متوسط نمره اولویت‌بندی ریسک



شکل (۳): مقادیر درجه تشخیص، احتمال وقوع و شدت اثرات شکست

جدول (۶): مقادیر ریسک کمینه، متوسط و بیشینه تجهیزات

رتبه‌بندی حساسیت	مقادیر ریسک			تجهیزات
	بیشترین	متوسط	کمترین	
۲	۲۸۸	۲۷۵	۲۵۲	پمپ تزریق سیال
۳	۲۹۴	۲۳۷	۱۸۰	پمپ تامین و کیوم
۴	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	شیرهای قطع و وصل
۴	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	شیرهای گلویی و یک طرفه
۳	۲۰۰	۱۹۳	۱۸۰	فشارشکن‌ها و فشارسنجها
۳	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	شیرهای فرمان برقی
۴	۹۰	۹۰	۹۰	شمارنده مقدار جریان
۶	۲۴	۲۴	۲۴	لوله‌ها و اتصالات
۴	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	درام‌ها
۴	۷۵	۷۵	۷۵	فیلترها
۱	۴۸۰	۴۳۲	۴۰۰	مجموعه سره تزریق
۱	۳۶۰	۳۳۰	۳۶۰	سنسورها
۱	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	مجموعه فرمان برقی
۴	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	اجکتور تامین خلاء

۳ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه با توجه به اهمیت اثربخشی تجهیزات در خط مونتاژ خودرو و تاثیر آن بر بهبود پارامترهای کمی و کیفی تولید، روش سیستماتیک حالات و اثرات شکست با هدف ارزیابی ریسک خرابی‌های بالقوه برای مهم‌ترین زیرسیستم‌های بحرانی در تجهیزات تست و تزریق سیال خودرو مورد مطالعه قرار گرفت که در آنها مهم‌ترین زیر سیستم-ها از نظر رتبه‌بندی ریسک مشخص شدند. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده، امکان برنامه‌ریزی به‌منظور انتخاب فعالیت‌های پیش-اقدام نگهداری و تعمیرات با هدف پیشگیری از وقوع هر یک از حالات خرابی با رتبه ریسک بالا وجود دارد. در این راستا با توجه به اهمیت مجموعه سره تزریق و نقش خطای انسانی در آن ارائه راهکارهای مدیریت ریسک از قبیل آموزش صحیح و نیز بکارگیری مواد اولیه مناسب در آن پیشنهاد می‌شود. در انتها، به منظور دستیابی به نتایج بهتر در زمینه بکارگیری اثرات حالات و خرابی به منظور ارزیابی ریسک، استفاده از سامانه‌های هوشمند فازی پیشنهاد می‌گردد. از سوی دیگر بکارگیری روش تحلیل حالات و اثرات خرابی می‌تواند، به منظور انجام مطالعات آتی در زمینه نت مبتنی بر قابلیت اطمینان مورد استفاده واقع شود.

تشکر و سپاسگزاری

در پایان از همکاری صمیمانه مدیران و کارکنان محترم شرکت ایران خودرو خراسان به ویژه واحد نگهداری و تعمیرات خط مونتاژ سپاسگزاری می‌گردد.

۴ مراجع

- [1] Vinodh, S., S. Aravindraj, Ravi Sathya Narayanan, and N. Yogeshwaran. "Fuzzy assessment of FMEA for rotary

switches: a case study." *The TQM Journal* 24, no. 5 (2012): 461-475.

[2] Dong, Chensong. "Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation." *International Journal of Quality & Reliability Management* 24, no. 9 (2007): 958-971.

[3] Mirghafoori, Seyed Habibollah, Faezeh Asadian Ardakani, and Fatemeh Azizi. "Developing a Method for Risk Analysis in Tile and Ceramic Industry Using Failure Mode and Effects Analysis by Data Envelopment Analysis." *Iranian Journal of Management Studies* 7, no. 2 (2014): 229.

[4] Duwe, Beau, Barry D. Fuchs, and John Hansen-Flaschen. "Failure mode and effects analysis application to critical care medicine." *Critical care clinics* 21, no. 1 (2005): 21-30.

[5] Mandal, Saptarshi, and J. Maiti. "Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach." *Expert Systems with Applications* 41, no. 7 (2014): 3527-3537.

[6] Kang, Jichuan, Liping Sun, Hai Sun, and Chunlin Wu. "Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA." *Ocean Engineering* 129 (2017): 382-388.

[7] Dağsuyu, Cansu, Elifcan Göçmen, Müfide Narlı, and Ali Kokangül. "Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit." *Computers & Industrial Engineering* 101 (2016): 286-294.

[8] Wessiani, Naning Aranti, and Satria Oktaufanus Sarwoko. "Risk Analysis of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA." *Procedia Manufacturing* 4 (2015): 270-281.

[9] Yang, Zaili, and Jin Wang. "Use of fuzzy risk assessment in FMEA of offshore engineering systems." *Ocean Engineering* 95 (2015): 195-204.

[10] Arabian-Hoseynabadi, H., Hashem Oraee, and P. J. Tavner. "Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 32, no. 7 (2010): 817-824.

[11] Smith, Anthony M., and Glenn R. Hinchcliffe. *RCM--Gateway to world class maintenance*. Butterworth-Heinemann, 2003.

[12] Yssaad, B., M. Khiat, and A. Chaker. "Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55 (2014): 108-115.

[13] Hoseinie, Seyed Hadi, Uday Kumar, and Behzad Ghodrati. "Reliability Centered Maintenance (RCM) for Automated Mining Machinery." (2016).

[14] Gupta, G., R. P. Mishra, and P. Singhvi. "An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine." *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 23, no. 06 (2016): 1640010.